

УДК 697

## АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСВЕННОГО ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В СИСТЕМАХ С БОЛЬШОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МОЩНОСТЬЮ

**М. С. Шевелева<sup>1</sup>, Е. А. Комаров<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> masha8119@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлен анализ экономической целесообразности использования косвенного испарительного охлаждения в системах с большой холодильной мощностью. Приведены расчеты капитальных и эксплуатационных затрат для случая охлаждения воздуха только за счет компрессорно-конденсаторных блоков, а также для системы с использованием косвенного испарительного охлаждения.

**Ключевые слова:** холодоснабжение, косвенное испарительное охлаждение, охладитель, стоимость

## ANALYSIS OF THE ECONOMIC FEASIBILITY OF INDIRECT EVAPORATIVE COOLING IN SYSTEMS WITH HIGH COOLING CAPACITIES

**M. S. Sheveleva<sup>1</sup>, E. A. Komarov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Ural Federal University named after the First  
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> masha8119@mail.ru

**Abstract.** In this paper, an analysis of the economic feasibility of indirect evaporative cooling in systems with a large cooling capacity is presented. Calculations of capital and operating costs for the case of system with compressor-condensing units, as well as for the system with indirect evaporative cooling are given.

**Keywords:** indirect evaporative cooling, air conditioning system, cooler, cost

Для поддержания определенных параметров среды на крупных производственных предприятиях необходимо использовать вентиляционные приточные системы с большой холодильной мощностью.

Как правило, такие системы потребляют большое количество электроэнергии, а их содержание и ремонт являются очень дорогостоящими, в то время как экономическая составляющая на крупных производственных предприятиях является приоритетной. По этой причине главным требованием к системам охлаждения, помимо обеспечения приемлемых параметров воздушной среды, является низкая стоимость эксплуатационных затрат.

Перспективным подходом к проектированию таких систем является использование косвенного испарительного охлаждения в системах кондиционирования воздуха.

Косвенное испарительное охлаждение — это процесс отвода тепла от потока воздуха через стенку теплообменника к воде, охлажденной испарением.

Характерная черта такого метода охлаждения воздуха — это использование двух потоков воздуха: основного (поток воздуха, который охлаждается) и вспомогательного (поток, который обеспечивает охлаждение воды). Начальные параметры двух потоков воздуха, как правило, равны [1].

Для косвенного испарительного охлаждения характерно использование градирни — аппарата, в котором при непосредственном контакте воды со вспомогательным потоком воздуха происходит испарительное охлаждение воды.

Общая схема работы такого метода заключается в том, что вода, охлажденная вспомогательным потоком воздуха посредством испарительного охлаждения, подается в поверхностный охладитель, охлаждающий основной поток приточного воздуха, который после подается через воздухораспределители в обслуживаемое помещение. В свою очередь, вода, отепленная основным потоком воздуха, возвращается в градирню для последующего охлаждения и повторения всего цикла.

Проведем сравнительный анализ для условных исходных данных: требуемая холодильная мощность — 750 кВт; температура наружного воздуха в теплый период года — 32 °С; период требуемого охлаждения — с мая по октябрь.

В качестве условной установки возьмем приточную установку с минимальным набором секций: воздушный клапан, фильтр, жидкостный

воздухоохладитель (для 1-го варианта — 2 шт., для 2-го варианта добавляем еще один для мокрой градирни) и вентилятор.

Определим капитальные и эксплуатационные затраты для двух вариантов и сравним полученные результаты.

Капитальные затраты включают в себя стоимость оборудования и монтаж оборудования. Условно, стоимость монтажа оборудования принимается равной 40 % от стоимости оборудования.

Эксплуатационные затраты включают в себя ежегодные затраты на тепловую и электрическую энергии, затраты на текущий и капитальный ремонты, а также затраты на заработную плату и определяются согласно формуле:

$$И = Т + Э + P_k + P_t + З + У,$$

где  $T$  — затраты на тепловую энергию, р./г.;  $Э$  — затраты на электрическую энергию, р./г.;  $P_k$  — затраты на капитальный ремонт, р./г.;  $P_t$  — затраты на текущий ремонт и обслуживание, р./г.;  $З$  — затраты на заработную плату обслуживающего персонала, р./г.;  $У$  — затраты на управление, технику безопасности, охрану труда и др., р./г. [2].

Затраты на заработную плату ( $З$ ), управление, технику безопасности и охрану труда ( $У$ ) в обоих вариантах будут одинаковыми, что позволяет их не учитывать в расчете.

Затраты на электрическую энергию зависят от мощности двигателя, продолжительности работы систем, а также от тарифа на электроэнергию в условном городе и определяются по формуле:

$$Э = N_{уст} k H_r C_э,$$

где  $N_{уст}$  — установочная мощность двигателей, кВт;  $k$  — коэффициент загрузки, принимаем равным 0,4 из расчета работы установок только в рабочую смену;  $H_r$  — продолжительность работы системы, принимаем равной 3600 ч/г.;  $C_э$  — тариф на электроэнергию, принимаем равным 3,41 р./(кВт·ч).

Усредненные затраты на капитальный и текущий ремонты принимаем равными 10 % от капитальных затрат  $K$ .

Рассмотрим 1-й вариант системы. В этом варианте охлаждение воздуха происходит только за счет компрессорно-конденсаторных блоков.

Стоимость условной установки составляет 2289 тыс. р. с учетом НДС; стоимость компрессорно-конденсаторных блоков, а также всех аксессуаров к ним составляет 3517,8 тыс. р. Следовательно, капиталъ-

ные затраты с учетом монтажа будут составлять 8129,52 тыс. р., а сумма текущего и капитального ремонта будет равна 812,95 (тыс. р.)/г.

Затраты на тепловую энергию в этом случае будут равны 0, т. к. система автономна.

Воспользуемся формулами, представленными выше, чтобы определить эксплуатационные затраты. При установленной мощности установки и компрессорно-конденсаторных блоков 108,5 кВт, затраты на электроэнергию будут равны  $\Theta = 532,78$  (тыс. р.)/г., следовательно, эксплуатационные затраты  $\Pi = 1345,73$  (тыс. р.)/г.

Рассмотрим 2-й вариант системы с использованием косвенного испарительного охлаждения.

Принципиальная разница в том, что часть тепла мы будем снимать с помощью мокрой градирни фирмы «Росинка». За счет этого в приточной установке появляется дополнительная секция воздухоохлаждителя, следовательно, стоимость условной приточной установки увеличивается; примем ее равной 2652,6 тыс. р.

Из общей холодильной энергии 195 кВт будет сниматься с помощью мокрой градирни, а остальные 555 кВт так же, как и в 1-м варианте, с помощью компрессорно-конденсаторных блоков (ККБ). Стоимость мокрой градирни будет составлять 665 тыс. р. Стоимость ККБ — 2758,9 тыс. р. Следовательно, капитальные затраты будут равны  $K = 8507,1$  тыс. р.

Для подсчета эксплуатационных затрат нужно учитывать, что мокрая градирня нуждается в подпитке. Такая подпитка производится водой из технического водопровода. В этом случае суммарные потери воды, требующие восполнения, составляют 0,29 м<sup>3</sup>/ч, что в перерасчете на год будет равным 417,6 м<sup>3</sup>/ч, тариф на техническую воду примем 14,5 р./м<sup>3</sup>.

Усредненные затраты на капитальный и текущий ремонты принимаем равными 10 % от капитальных затрат — 850,71 (тыс. р.)/г.

Суммарная электрическая мощность составляет 87,5 кВт, следовательно, воспользовавшись формулами, представленными выше, получаем, что эксплуатационные затраты будут составлять  $\Pi = 1286,43$  (тыс. р.)/г.

Из результатов расчетов этих двух вариантов можно сделать вывод, что использование испарительного охлаждения при небольшом увеличении капитальных затрат приводит к снижению эксплуатационных расходов.

Выполненные расчеты являются предварительными, в дальнейшем планируется провести более детальный анализ.

#### **Список источников**

1. Кокорин О. Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования. М. : Изд-во АСВ, 2013. 256 с.
2. Богуславский Л. Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции. М. : Стройиздат, 1985. 337 с.